

УДК 004.067

**Ю.А. Брюхомицкий****ИММУНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА РУКОПИСНОГО ТЕКСТА**

*Задачи анализа рукописных текстов решаются на основе двух технологий «офлайн» и «онлайн». Обе технологии имеют свои недостатки. Первая технология реализуется вручную экспертами по почеркам, обладает высокой трудоемкостью и носит субъективный характер. Вторая технология ориентирована на короткие тексты и обладает невысокой точностью. Состояние исследований в данной области знаний и достигнутые результаты обуславливают как актуальную, – задачу поиска новых методов анализа произвольных рукописных текстов, полученных в режиме «онлайн», для решения задач: идентификации личности; выявления степени отклонения психофизического состояния личности от его нормального состояния; обнаружения фрагментов рукописи, отвечающих условию повышенной эмоциональной значимости для пишущего; исследования рукописей с целью выявления отличительных личностных особенностей и др. Для этого в данной работе предлагается новый метод онлайн-анализа рукописного текста, основанный на принципах функционирования искусственных иммунных систем. Принципиальным отличием иммунологического метода анализа от традиционных методов является переход от интегральной оценки данных за фиксированный период их поступления к оценке временной структуры данных в темпе их поступления. Для решения задач анализа рукописного текста использована иммунологическая модель, основанная на алгоритме отрицательного отбора. Исходными данными для онлайн-анализа являются снимаемые с выхода дигитайзера оцифрованные функции колебания пера в трех координатах, учитывающих перемещение пера в плоскости планшета и давление. Эти функции преобразуются в последовательность событий трехмерных событий и подвергаются покомпонентной обработке, что позволяет сохранить точность представления информационного процесса рукописи и результата идентификации. Предложенный метод, в сравнении с известными методами, позволяет осуществлять текст-независимый анализ рукописи, обладает потенциально более высокой точностью анализа и, тем самым, существенно расширяет области применения систем онлайн-анализа рукописи.*

*Анализ рукописного текста; идентификация личности по рукописи; искусственные иммунные системы; алгоритм отрицательного отбора.*

**Yu.A. Bryukhomitsky****IMMUNOTECHNIQUE METHOD OF PENSCRIPT ANALYSIS**

*The tasks of personality identification by penscript are solving on a basis of two technologies: "off-line" and "on-line". Both technologies have their shortcomings. The first technology is realized manually by script experts. It possesses a high work content and has a subjective nature. The second technology is oriented on short texts and possesses a low poor accuracy. The researches state in this area of expertise and results obtained are determine as an actual – the problem of searching of new analysis techniques of arbitrary penscripts received in "on-line" mode, for solving the following problems: identification of personality; detection of deviation scope of individual psychophysical state from its normal state; detection of penscript fragments satisfied the requirement of excessive emotional significance for writer; penscripts research in order to detect the distinctive personality characteristics etc. Thereto in present study the new penscript on-line-analysis method is offered. It based on principles of artificial immune systems functioning. The fundamental difference of immunotechnique of analysis from the traditional ones is the transition from integral estimate of data by the fixed period of their acquisition - to evaluation of on-line data temporal pattern. In order to solve the tasks of penscript analysis it was used the immunological model based on negative selection algorithm. Digitized functions of pen-variation in three-axis which are taking into account the pen-movement in plane of pad and the pressure, removing from the digitizer's output, are used as initial data for "on-line" analysis. These functions are transforming to sequence of three-dimensional events and are exposed to component-wise pro-*

*cessing. That allows to preserve the accuracy of penscript information process presentation and identification result. The proposed method, in comparison with known methods, possesses potentially higher precision of the analysis and significantly expands fields of application of personality identification by penscript systems.*

*Penscript analysis; personality identification by penscript; artificial immune systems; algorithm of negative selection.*

**Введение.** Задачи анализа рукописных текстов могут ставиться и решаться по-разному, в зависимости от целей такого анализа, области применения, вида анализируемых данных, требований по трудоемкости процедуры, достоверности и обоснованности получаемых результатов и др.

Существуют две различные постановки задачи анализа рукописного текста, различающихся способом его получения.

- ◆ Образец рукописного текста представлен на бумажном носителе, и анализу подлежит собственно изображение рукописного текста, не содержащее достоверных данных о способе и характере процесса его воспроизведения автором. Процедура анализа в этом случае носит название «офлайн» анализа.
- ◆ Рукописный текст подвергается анализу непосредственно в процессе его воспроизведения автором на графическом планшете (дигитайзере). При анализе могут учитываться индивидуальные особенности подсознательных движений при воспроизведении автором рукописного текста. Процедура анализа в этом случае носит название онлайн-анализа.

В настоящее время офлайн-анализ рукописного текста (почерковедческая экспертиза), направленный на идентификацию исполнителя представляет неавтоматизированное исследование, включающее несколько этапов, большинство из которых проводятся вручную экспертами высокой квалификации. Как следствие, результаты такого исследования носят достаточно субъективный характер и зависят от опыта и профессионализма эксперта [1, 2].

Задача онлайн-анализа рукописи нашла наибольшее применение в сфере информационной безопасности для аутентификации и контроля доступа пользователей в компьютерные системы. При этом индивидуальные параметры рукописи получают путем разложения выходных сигналов дигитайзера по ортогональным базисам Фурье, Уолша, Хаара и др., а коэффициенты разложений выступают в качестве идентификационных параметров личности [3–6]. Такой подход ориентирован исключительно на короткие тексты, в качестве которых используются факсимильная подпись или парольное слово индивидуума.

Недостатками известных онлайн-методов анализа рукописи является возможность использования только фиксированных коротких текстов рукописи и невысокая точность, обусловленная:

- ◆ вариативным характером образцов рукописи индивидуума;
- ◆ малой представительностью образцов рукописи индивидуума, ограниченных паролем или факсимильной подписью;
- ◆ зависимостью результатов идентификации от психофизического состояния индивидуума;
- ◆ методическими погрешностями методов частотного разложения;
- ◆ указанные недостатки ограничивают сферу применения рукописных систем идентификации личности на основе онлайн-методов.

Состояние исследований в данной области и достигнутые результаты обуславливают как актуальную, – задачу поиска новых методов анализа произвольных рукописных текстов, полученных в режиме «онлайн», для решения задач:

- ◆ идентификации личности, в том числе – скрытой;
- ◆ выявления отклонений психофизического состояния личности от нормального состояния;

- ♦ обнаружения фрагментов рукописи, отвечающих условию повышенной эмоциональной значимости для пишущего (аналог полиграфа);
- ♦ исследования рукописей с целью выявления отличительных личностных особенностей и др.

**Цель работы** заключается в разработке метода текст-независимого онлайн-анализа рукописи, основанного на использовании принципов построения и функционирования искусственных иммунных систем (ИИС) [7–9].

Исходными биометрическими данными для анализа рукописи являются колебания пера, которые воспринимаются графическим планшетом. Количество степеней свободы  $n$ , которые описывают возможное число квазинепрерывных характеристик взаимного положения пера и планшета приближается к десяти. На практике в идентификационных рукописных системах преимущественно используются три характеристики ( $n = 3$ ): колебания пера в плоскости планшета – функции  $x(t)$ ,  $y(t)$  и колебания давления пера на плоскость планшета – функция  $z(t)$ . Последнюю функцию математически можно трактовать как колебания пера по вертикали в ортонормированной системе  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$ . Последующее увеличение степеней свободы  $n$  при линейном увеличении затрат приводит к нелинейно меньшему приросту точности идентификации [4]. По этой причине в данной работе для упрощения выкладок принято  $n = 3$ , при том, что метод работоспособен для любых значений  $n$ .

Предлагаемый метод основан на алгоритме отрицательного отбора (АОО) [10–15] и предполагает специальное представление информационных процессов в системе в виде одномерных последовательностей событий с последующим их разбиением на строки фиксированной длины, имитирующие иммунокомпетентные клетки иммунной системы. При этом каждая строка представляет собой некоторую информационную единицу исследуемого процесса. Такое представление имитирует массово-параллельную обработку информации на уровне клеток, наблюдаемую в иммунной системе.

Иммунологический анализ информационного процесса на предмет его соответствия заданному шаблону сводится к выявлению аномальных строк, число которых позволяет квалифицировать степень отклонения исследуемого процесса от шаблона. Для этого на стадии обучения ИИС, на основе представительной выборки исследуемого процесса вначале создается его шаблон в виде набора строк фиксированной длины. Затем в метрике шаблона создаются детекторы, строки которых существенно отличаются от строк шаблона. В рабочем режиме строки исследуемого информационного процесса сопоставляются с детекторами по принципу частичного соответствия в  $r$  смежных позициях. Активация детектора свидетельствует о наличии в составе анализируемого процесса аномальной строки, отсутствовавшей в шаблоне.

Важным является то, что сопоставление производится не в одиночных, а сразу в нескольких смежных позициях. Ширина зоны сопоставления задается параметром  $r$ , имитирующим степень аффинности клеток иммунной системы. В рукописной системе этот параметр определяет степень связности последовательно идущих событий и содержательно соответствует отрезкам рукописи, воспроизводимых индивидуумом автоматически на основе хорошо заученных движений кисти руки. Это обстоятельство оправдывает попытку – использовать иммунологический подход к построению систем анализа и идентификации рукописи, с целью получения удовлетворительного сочетания точности и сложности реализации.

Следует отметить, что принципиальным отличием иммунологического метода анализа является переход от интегральной оценки данных за некоторый фиксированный период к оценке временной структуры данных в темпе их поступления.

Другим важным аспектом иммунологического метода анализа является то, что шаблон формируется и используется лишь на этапе обучения ИИС для создания альтернативных ему детекторов рукописных образов. На этапе распознавания, выявление процесса, отличного от шаблона, осуществляется не путем его сравнения с шаблоном, а на основании частоты реакций детекторов, свидетельствующих о наличии отклонений анализируемого процесса от шаблона. Такая схема распознавания имеет ряд существенных особенностей, которые для определенных классов задач создают определенные преимущества [9, 16].

При онлайн-анализе рукописного текста исходными данными являются снимаемые с выхода дигитайзера оцифрованные функции  $x(t_i)$ ,  $y(t_i)$ ,  $z(t_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , отражающие колебания пера в координатах  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Каждая позиция пера с координатами  $x(t_i)$ ,  $y(t_i)$ ,  $z(t_i)$  представлена вектором  $\bar{a}_i$ , изменяющемся в дискретные моменты времени  $t_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$  в ортогональной системе координат Евклидова пространства  $E^n$  ( $n = 3$ ). Начало вектора  $\bar{a}_i$  совпадает с началом координат, а конец – представлен точкой с координатами  $\bar{a}_i = (a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})$ .

Информационный процесс воспроизведения рукописи представлен последовательностью событий  $\bar{A}_i = \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , где  $\bar{a}_i = (a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})$ . Из этой последовательности исключаются длительные паузы, не обусловленные особенностями рукописи личности. Последовательность  $\bar{A}_i$  ограничивается конечным числом событий  $N$ :  $\bar{A}_i = \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, a_N$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Каждое событие  $\bar{a}_i$  имеет  $n = 3$  измерения  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Такое представление исследуемого процесса отличается от принятого в ИИС представления, оперирующего последовательностями одномерных событий. В этой ситуации предлагается два возможных способа перехода к иммунологическому представлению данных рукописного текста.

Первый способ состоит в сведении последовательности многомерных событий к последовательности одномерных событий, путем замены векторов  $\bar{a}_i$  одномерными скалярными величинами  $|\bar{a}_i|$ , соответствующими длине вектора

$$|\bar{a}_i| = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}.$$

Математическая интерпретация этого способа эквивалентна представлению информационного процесса рукописи простой решетчатой функцией  $\bar{a}_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Преимущество такого способа – простота. Недостаток заключается в снижении точности идентификации за счет замены трехкомпонентного вектора признаков его длиной.

Второй способ заключается в покомпонентной обработке событий последовательности  $\bar{A}_i = \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, i = 1, 2, \dots, N$  и позволяет за счет увеличения вычислительных затрат – сохранить точность представления информационного процесса рукописи и результат его идентификации.

Трехкомпонентная структура последовательности  $\bar{A}_i$  имеет вид

$$\bar{A}_i = \begin{cases} A_{xi} = a_{x1}, a_{x2}, \dots, a_{xN}; \\ A_{yi} = a_{y1}, a_{y2}, \dots, a_{yN}; \\ A_{zi} = a_{z1}, a_{z2}, \dots, a_{zN}. \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Числовые значения  $\bar{a}_i = (a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})$ , кодирующие события процесса рукописи, представлены действительными числами, нормированными к фиксированному диапазонам данных в выходных каналах  $x$ ,  $y$ ,  $z$  дигитайзера:

$$d_v = (\min a_v, \max a_v), v = x, y, z.$$

Диапазоны  $d_x, d_y$  определяются графическим разрешением дигитайзера, измеряемым числом точек на дюйм (англ. dots per inch – dpi) и размерами экрана. Диапазон  $d_z$  определяется чувствительностью планшета к давлению пера. В общем случае диапазоны  $d_x, d_y, d_z$  могут быть различными и определяются характеристиками дигитайзера.

Для реализации иммунологической операции сопоставления одноименных символов последовательности  $\bar{A}_i$  по принципу частичного соответствия, диапазоны  $d_v, v = x, y, z$  удобно представить  $m_v$ -разрядными двоичными кодами [9, 17]. При этом разрядности  $m_x, m_y, m_z$  задают точности двоичного представления исходного числа по каждой координате. Поскольку  $m$ -разрядным двоичным кодом можно закодировать  $2^m$  чисел от 0 до  $2^m - 1$ , то диапазоны  $d_v, v = x, y, z$  будут содержать по  $(2^{m_v} - 2)$  интервалов с размерами интервала:

$$\delta_v = d_v / (2^{m_v} - 2), \quad v = x, y, z.$$

В таком случае каждый из компонентов  $a_{xi}, a_{yi}, a_{zi}$ , изменяющийся в своем диапазоне  $d_x, d_y, d_z$ , может быть отнесен к одному из интервалов своего диапазона:

$$\delta_{vj}, j = 1, 2, \dots, (2^{m_v} - 2), v = x, y, z$$

с абсолютной ошибкой  $\delta_v$ , и представлен двоичным кодом номера интервала

$$\delta_{vj}, v = x, y, z, j = 1, 2, \dots, (2^{m_v} - 2).$$

В том случае, если значения  $a_{vi}, v = x, y, z$  окажутся за пределами своих нормированных интервалов  $d_v, v = x, y, z$ , то эти значения должны кодироваться всеми нулями [00...0] или всеми единицами [11...1], в зависимости от границы интервала, за которую они вышли.

Принцип кодирования последовательностей событий  $\bar{A}_i$  поясняет рис. 1.

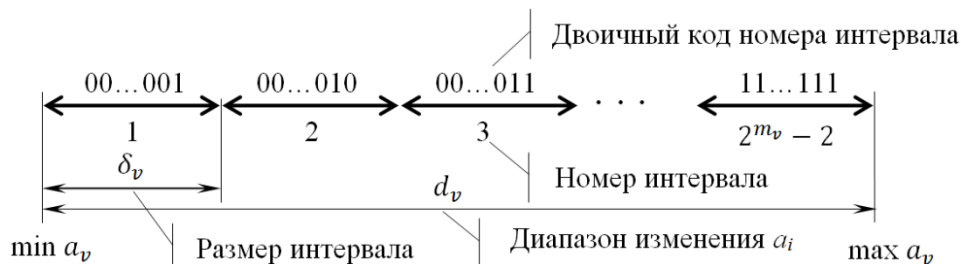


Рис. 1. Принцип кодирования событий информационных процессов

В системах онлайн-анализа рукописного текста указанное структурирование реализуется путем разбиения последовательности трехкомпонентных событий информационного процесса рукописи  $\bar{A}_i = \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, i = 1, 2, \dots, N$  с помощью скользящего временного окна длиной  $l$  и шагом сдвига  $h$  на целое число  $\dot{N}$  строк:

$$\dot{N} = \left\lfloor \frac{N - l}{h} + 1 \right\rfloor,$$

где  $\lfloor X \rfloor$  – полуфункция числа  $X$ , (целая часть числа, образуемая путем округления  $X$  до ближайшего целого в меньшую сторону).

Результатом разбиения будет набор из  $\dot{N}$  трехкомпонентных ( $v = x, y, z$ ) строк по  $i = 1, 2, \dots, l$  позиций в каждой строке:

$$\bar{A}_{vij} = \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_l, \quad v = x, y, z, \quad i = 1, 2, \dots, l \quad j = 1, 2, \dots, \dot{N}.$$

В поэлементной записи:

$$A_{xi1} = a_{x11}, a_{x21}, \dots, a_{xl1};$$

$$A_{yi1} = a_{y11}, a_{y21}, \dots, a_{yl1};$$

$$A_{zi1} = a_{z11}, a_{z21}, \dots, a_{zl1},$$

$$A_{x(i+h)2} = a_{x(1+h)2}, a_{x(2+h)2}, \dots, a_{x(l+h)2};$$

$$A_{y(i+h)2} = a_{y(1+h)2}, a_{y(2+h)2}, \dots, a_{y(l+h)2};$$

$$A_{z(i+h)2} = a_{z(1+h)2}, a_{z(2+h)2}, \dots, a_{z(l+h)2},$$

.....

$$A_{x(i+2h)N_S} = a_{x(1+2h)N_S}, a_{x(2+2h)N_S}, \dots, a_{x(l+2h)N_S};$$

$$A_{y(i+2h)N_S} = a_{y(1+2h)N_S}, a_{y(2+2h)N_S}, \dots, a_{y(l+2h)N_S};$$

$$A_{z(i+2h)N_S} = a_{z(1+2h)N_S}, a_{z(2+2h)N_S}, \dots, a_{z(l+2h)N_S}.$$

В итоге указанной процедуры будет сформирован рукописный биометрический шаблон зарегистрированной в системе личности **T**.

Принцип формирования рукописного биометрического шаблона **T** при  $l = 5$  и  $h = 1$  иллюстрирует рис. 2.

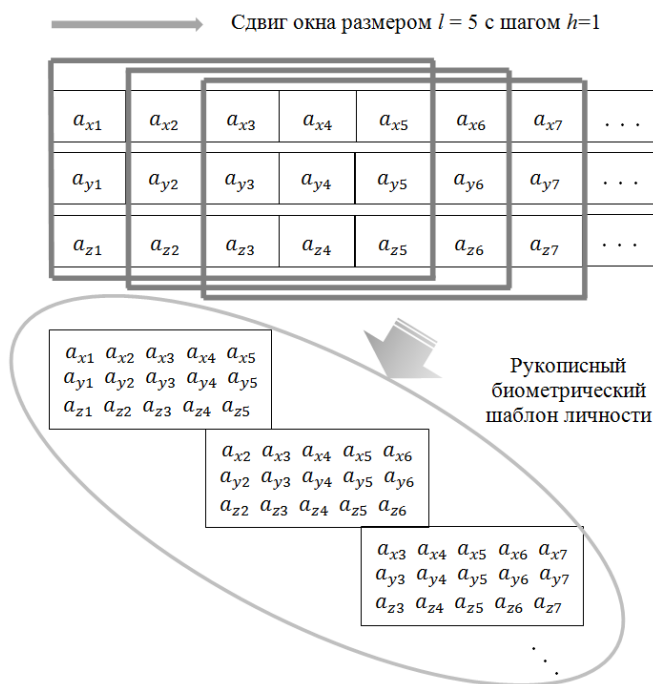


Рис. 2. Принцип формирования рукописного биометрического шаблона **T** при  $l = 5$  и  $h = 1$

Следующим шагом является создание распознающих элементов – детекторов, предназначенных для иммунологического распознавания рукописных данных. Детекторы можно создавать разными способами [9, 16, 18–20]. В данной работе использован самый простой способ – случайной генерации детекторов с равномерным законом распределения событий [9], дополненный логикой покомпонентной обработки данных.

Для распознавания рукописного текста, представленного колебаниями пера в трех координатах, детекторы должны иметь тот же формат, что и строки шаблона **T**. Поэтому кандидаты в детекторы также генерируются в виде трехкомпонентных строк длиной  $l$  символов. Числовые значения  $a_1, a_2, \dots$ , кодирующие события информационного процесса рукописи, генерируются случайно с равномерным законом распределения в заданном диапазоне  $d$ . Каждый образованный кандидат в детекторы (строка) раздельно по каждому компоненту  $v$  сопоставляется поочередно со всеми строками сформированного шаблона **T** по принципу частичного совпадения в  $r$  смежных позициях. Факт совпадения двух трехкомпонентных строк  $P_j$  соответствует логической конъюнкции результатов  $p_v$  совпадения строк по каждому из компонентов  $v$ :

$$P_j = p_{xj} \wedge p_{yj} \wedge p_{zj}, \quad P_j, p_{vj} = \{0, 1\}, \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

При установлении факта частичного совпадения соответствующий кандидат в детекторы считается близким к строкам шаблона и уничтожается. В противном случае кандидат в детекторы считается пригодным для выявления отклонений рукописи от шаблона и пополняет совокупность образованных детекторов. По такой схеме формируется необходимое число детекторов.

Схему формирования детекторов иллюстрирует рис. 3.

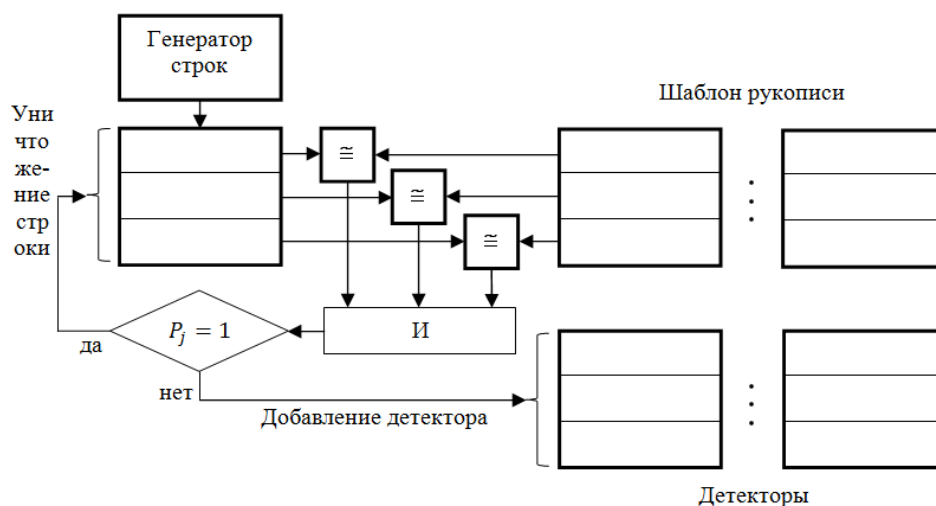


Рис. 3. Схема формирования детекторов

После создания детекторов процесс обучения системы анализа рукописного текста заканчивается, и ее можно использовать в рабочем режиме – обнаружения и измерения степени отклонения характера исследуемого рукописного текста от шаблона. Для этого наиболее приемлемым является режим «верификации», при котором для распознавания используется набор детекторов, созданный на основе одного определенного шаблона. При необходимости анализа нескольких образцов рукописи, для каждого акта анализа следует предварительно загрузить соответствующий шаблон.

Для реализации процедуры сопоставления исследуемого образца рукописи с шаблоном соответствующая образцу последовательность событий  $\bar{A}_i = \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots$ , сначала «очищается» от длительных пауз, не обусловленных особенностями рукописи личности, а затем с помощью скользящего временного окна с шагом сдвига  $h$  и длиной  $l$  разбивается на трехкомпонентные строки  $\bar{A}_{vij}$ ,  $v = x, y, z$ ,  $i = 1, 2, \dots, l$ ,  $j = 1, 2, \dots$ . Образованные строки последовательно сопоставляются с детекторами.

Совпадение строки последовательности  $\bar{A}_{vij}$  с любым детектором свидетельствует о наличии рукописных параметров, отсутствующих в шаблоне  $T$  исследуемой рукописи. Степень отклонения  $\Delta$  исследуемого образца рукописи от шаблона будет пропорциональна частоте срабатывания детекторов

$$\Delta \approx f = \frac{n^+}{n},$$

где  $n^+$  – число положительных исходов при сравнении строк;  $n$  – общее число проведенных сравнений строк.

**Заключение.** Предложен новый метод онлайн-анализа рукописного текста, основанный на принципах функционирования искусственных иммунных систем. В сравнении с известными методами он позволяет осуществлять текст-независимый анализ рукописи. Предложенный метод потенциально обладает и более высокой точностью анализа в сравнении с известными, что обусловлено высокой степенью адекватности применяемой процедуры иммунологического анализа рукописи при ее осуществлении человеком.

Использование предложенного метода позволяет существенно расширить области применения систем онлайн-анализа рукописного текста. В частности, он хорошо подходит для решения задач: скрытной идентификации личности; выявления степени отклонения психофизического состояния личности от нормального состояния; обнаружения фрагментов рукописи, отвечающих условию повышенной эмоциональной значимости для пишущего (аналог полиграфа); исследования рукописей с целью выявления отличительных личностных особенностей автора и др.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Govindan V.K.* Character recognition – a review // *Pattern Recognition*. – 1990. – Vol. 23, № 7. – P. 671-683.
2. *Шейбак А.Н., Афанасьев Г.К.* Разработка и анализ алгоритмов идентификации почерка // Информационные технологии, электронные приборы и системы ITEDS'2010: Материалы Международной научно-практической конференции (6–7 апреля 2010 г., Минск). – Минск: Белорусский государственный университет, 2010.
3. *Tappert C.C.* The state of art in on-line handwriting recognition // *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* – 1990. – Vol. 12, № 8. – P. 787-808.
4. *Иванов А.И.* Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 188 с.
5. *Брюхомицкий Ю.А., Казарин М.Н.* Система аутентификации личности по почерку // Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием «Информационная безопасность». – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – С. 22-29.
6. *Милых В.А., Лапина Т.И., Латин Д.В.* Способ биометрической идентификации по почерку в компьютеризированной системе контроля доступа // Патент России № 2469397. 2012.
7. *Dasgupta D.* *Artificial Immune Systems and Their Applications*, Springer-Verlag, 1998.
8. *De Castro L.N., Timmis J.I.* *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach*, London: Springer-Verlag 2000 September. – 357 p.
9. Искусственные иммунные системы и их применение / Под ред. Д. Дасгупты: Пер. с англ. А.А. Романюхи. – М.: Физматлит, 2006. – 344 с.
10. *Forrest S., Perelson A.S., Allen L., Cherukuri R.* Self-nonsel self discrimination in a computer // In: Proc. of Ieee symposium on research in security, Oakland, CA, 16-18 May 1994. – P. 202-212.
11. *Dasgupta D., Forrest S.* Tool breakage detection in milling operations using a negative-selection algorithm // Technical report CS95-5, Department of computer science, University of New Mexico, 1995.
12. *Dasgupta D., Forrest S.* Novelty detection in time series data using ideas from immunology // In: ISC A 5th international conference on intelligent systems, Reno, Nevada, June 19-21, 1996.



13. Dasgupta D., Yu S., Majumdar N. MILA – Multilevel Immune Learning Algorithm // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference – 2003, Springer – Verlag: Berlin Heidelberg, 2003. – P. 183-194.
14. Брюхомицкий Ю.А. Мониторинг информационных процессов методами искусственных иммунных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 12 (137). – С. 82-90.
15. Брюхомицкий Ю.А. Модель адаптивной самоорганизующейся искусственной иммунной системы для решения задач компьютерной безопасности // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 12 (149). – С. 63-69.
16. Брюхомицкий Ю.А. Иммунологический подход к организации клавиатурного мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 2 (151). – С. 33-41.
17. Dasgupta D. Using immunological principles in anomaly detection // Proc. of the Artificial Neural Networks in Engineering (ANNIE'96), St. Louis, USA, November 10-13, 1996.
18. D'haeseleer P., Forrest S., Helman P. An immunological approach to change detection: algorithms, analysis, and implications // In: Proc. of IEEE symposium on research in security, Oakland, CA, May 1996.
19. Брюхомицкий Ю.А., Гончаров С.Б. Модификации иммунологического алгоритма отрицательного отбора для систем компьютерной безопасности // Материалы Всероссийской научной конференции «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника 2012»). – Таганрог, 2012. – С. 126-136.
20. Брюхомицкий Ю.А. Повышение производительности иммунологической системы мониторинга информационных процессов // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2014. – № 22. – С. 102-110.

## REFERENCES

1. Govindan V.K. Character recognition – a review, *Pattern Recognition*, 1990, Vol. 23, No. 7, pp. 671-683.
2. Sheybak A.N., Afanas'ev G.K. Razrabotka i analiz algoritmov identifikatsii pocherka [Development and analysis of algorithms of identification of handwriting], *Informatsionnye tekhnologii, elektronnye pribory i sistemy ITEDS'2010: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (6–7 aprelya 2010 g., Minsk)* [Information technology, electronic devices and systems ITEDS'2010: proceedings of the International scientific-practical conference (April 6-7, 2010, Minsk)]. Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet, 2010.
3. Tappert C.C. The state of art in on-line handwriting recognition, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1990, Vol. 12, No. 8, pp. 787-808.
4. Ivanov A.I. Biometricheskaya identifikatsiya lichnosti po dinamike podsoznatel'nykh dvizheniy [Biometric identification of the dynamics of unconscious movements]. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2000, 188 p.
5. Bryukhomitskiy Yu.A., Kazarin M.N. Sistema autentifikatsii lichnosti po pocherku [The authentication system of personality from handwriting], *Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Informatsionnaya bezopasnost'»* [Proceedings of scientific-practical conference with international participation "Information security"]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2002, pp. 22-29.
6. Milykh V.A., Lapina T.I., Lapin D.V. Sposob biometricheskoy identifikatsii po pocherku v komp'yuterizirovannoy sisteme kontrolya dostupa [Method of biometric identification of the handwriting in the computerized access control system], Patent RF, No. 2469397, 2012.
7. Dasgupta D. Artificial Immune Systems and Their Applications, Springer-Verlag, 1998.
8. De Castro L.N., Timmis J.I. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach, London: Springer-Verlag 2000 September, 357 p.
9. Iskusstvennye immunnnye sistemy i ikh primeneniye [Artificial immune systems and their applications], Under ed. D. Dasgupty: Translation from English A.A. Romanyukhi. Moscow: Fizmatlit, 2006, 344 p.
10. Forrest S., Perelson A.S., Allen L., Cherukuri R. Self-nonsel self discrimination in a computer, *In: Proc. of Ieee symposium on research in security, Oakland, CA, 16-18 May 1994*, pp. 202-212.
11. Dasgupta D., Forrest S. Tool breakage detection in milling operations using a negative-selection algorithm, *Technical report CS95-5, Department of computer science, University of New Mexico, 1995*.

12. Dasgupta D., Forrest S. Novelty detection in time series data using ideas from immunology, In: *ISC A 5th international conference on intelligent systems, Reno, Nevada, June 19-21, 1996*.
13. Dasgupta D., Yu S., Majumdar N. MILA – Multilevel Immune Learning Algorithm, *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference – 2003, Springer – Verlag: Berlin Heidelberg, 2003*, pp. 183-194.
14. Bryukhomitskiy Yu.A. Monitoring informatsionnykh protsessov metodami iskusstvennykh immunnykh sistem [Monitoring information processes methods of artificial immune system], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2012, No. 12 (137), pp. 82-90.
15. Bryukhomitskiy Yu.A. Model' adaptivnoy samoorganizuyushchey iskusstvennoy immunooy sistemy dlya resheniya zadach komp'yuternoy bezopasnosti [Adaptive self-organizing artificial immune system model for a computer security particular purpose], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2013, No. 12 (149), pp. 63-69.
16. Bryukhomitskiy Yu.A. Immunologicheskii podkhod k organizatsii klaviaturnogo monitoringa [The immunologic approach to keyboard monitoring organization], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2014, No. 2 (151), pp. 33-41.
17. Dasgupta D. Using immunological principles in anomaly detection, *Proc. of the Artificial Neural Networks in Engineering (ANNIE'96), St. Louis, USA, November 10-13, 1996*.
18. D'haeseleer P., Forrest S., Helman P. An immunological approach to change detection: algorithms, analysis, and implications, In: *Proc. of IEEE symposium on research in security, Oakland, CA, May 1996*.
19. Bryukhomitskiy Yu.A., Goncharov S.B. Modifikatsii immunologicheskogo algoritma otritsatel'nogo otbora dlya sistem komp'yuternoy bezopasnosti [Modification of immunological algorithm of negative selection systems for computer security], *Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Teoreticheskie i metodicheskie problemy effektivnogo funktsionirovaniya radiotekhnicheskikh sistem» («Sistemotekhnika 2012»)* [Materials of all-Russian scientific conference "Theoretical and methodological problems of effective functioning of radio engineering systems (systems Engineering 2012)"]. Taganrog, 2012, pp. 126-136.
20. Bryukhomitskiy Yu.A. Povyshenie proizvoditel'nosti immunologicheskoy sistemy monitoringa informatsionnykh protsessov [Improving the performance of the immunological system monitoring information processes], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma [Information Counteraction to the Terrorism Threats]*, 2014, No. 22, pp. 102-110.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

**Брюхомицкий Юрий Анатольевич** – Южный федеральный университет; e-mail: bya@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: 88634371905; кафедра безопасности информационных технологий; доцент.

**Bryukhomitsky Yuriy Anatoly** – Southern Federal University; e-mail: bya@tgn.sfedu.ru; 2, Chekhov street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371905; the department of security in data processing technologies; associate professor.

УДК 004.94

**И.В. Чечин**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕРЕВЬЕВ НАСТУПЛЕНИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ СОБЫТИЙ НА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ПОСРЕДСТВОМ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПОЛИНОМОВ С МАСКИРОВАНИЯМИ**

*Рассматривается применение систем линейных арифметических полиномов с маскированием для анализа наступления неблагоприятных событий на техническом объекте. Необходимость применения линейных арифметических полиномов с маскированием продиктована объективными требованиями к оперативности получения информации о событиях.*